

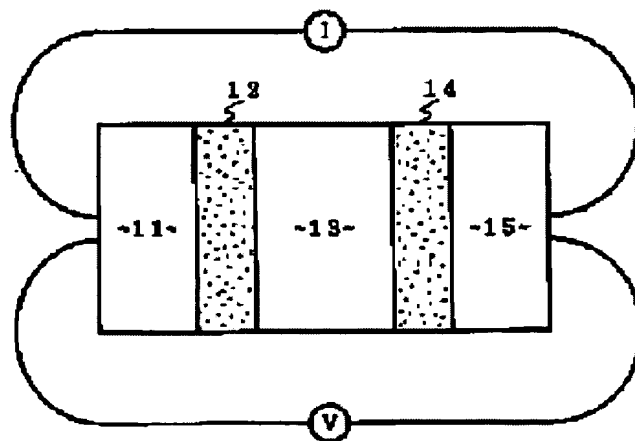
MAGNETIC ELEMENT, MAGNETIC PART USING THE SAME AND ELECTRONIC COMPONENT

Patent number: JP11238925
Publication date: 1999-08-31
Inventor: SAITO YOSHIAKI; INOMATA KOICHIRO; KISHI TATSUYA
Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO
Classification:
- **International:** H01L43/08; G11B5/39; H01F10/12
- **European:**
Application number: JP19980039344 19980220
Priority number(s): JP19980039344 19980220

Report a data error here

Abstract of JP11238925

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetic element, whose magnetic resistance change rate is large and whose saturation magnetic field is small and whose resistance value is small, even if it is worked into a fine element form. **SOLUTION:** A stacked film having the ferromagnetic layer 13 (or ferromagnetic layer which is cut by a dielectric) of at least one layer, which is sandwiched by dielectric layers 12 and 14, and first and second metal layers 11 and 15 which are stacked/arranged with the ferromagnetic layer 13 (or ferromagnetic layer cut by a dielectric) through the dielectric layers 12 and 14 is provided. At least one of the first and second metal layers 11 and 15 is constituted of a ferromagnetic body, and the stacked film shows spin polarization tunnel effect through a discrete level formed in the ferromagnetic layer 13 (or ferromagnetic layer cut by a dielectric). The magnetic element shows the magnetic resistance change rate of not less than 30% at room temperature, for example.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-238925

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月31日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

H 0 1 F 10/12

H 0 1 F 10/12

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号

特願平10-39344

(22) 出願日

平成10年(1998) 2月20日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 斉藤 好昭

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 猪俣 浩一郎

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 岸 達也

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

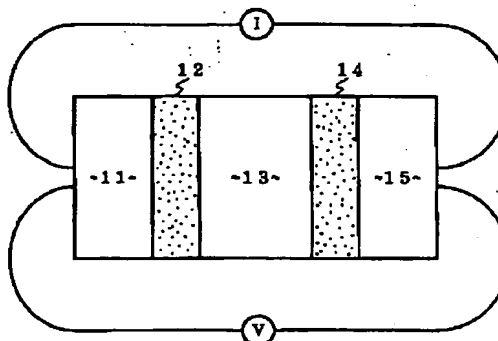
(74) 代理人 弁理士 須山 佐一

(54) 【発明の名称】 磁気素子とそれを用いた磁気部品および電子部品

(57) 【要約】

【課題】 大きな磁気抵抗変化率および小さい飽和磁界を有し、かつ微細素子形状に加工しても抵抗値が小さい磁気素子が求められている。

【解決手段】 誘電体層12、14で挟持された少なくとも1層の強磁性層13（または誘電体で分断された強磁性層）と、誘電体層12、14を介して強磁性層13（または誘電体で分断された強磁性層）と積層配置された第1および第2の金属層11、15とを有する積層膜を具備し、第1および第2の金属層11、15のうち少なくとも一方は強磁性体からなり、かつ前記積層膜は強磁性層13（または誘電体で分断された強磁性層）に形成された離散準位を介してスピン偏極トンネル効果を示すものである。この磁気素子は例えば室温下で30%以上の磁気抵抗変化率を示す。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも1層の強磁性層と、前記強磁性層を挟持するように配置された誘電体層と、前記誘電体層を介して前記強磁性層と積層配置された第1および第2の金属層とを有する積層膜を具備し、前記第1および第2の金属層のうち少なくとも一方は強磁性体からなり、かつ前記積層膜は前記強磁性層に形成された離散準位を介してスピン偏極トンネル効果を示すことを特徴とする磁気素子。

【請求項2】 強磁性体が誘電体で分断された強磁性層と、前記磁性層を挟持するように配置された誘電体層と、前記誘電体層を介して前記強磁性層と積層配置された第1および第2の金属層とを有する積層膜を具備し、前記第1および第2の金属層のうち少なくとも一方は強磁性体からなり、かつ前記積層膜は前記強磁性層に形成された離散準位を介してスピン偏極トンネル効果を示すことを特徴とする磁気素子。

【請求項3】 請求項1または請求項2記載の磁気素子において、前記積層膜はスピン偏極共鳴トンネル効果を示すことを特徴とする磁気素子。

【請求項4】 請求項1または請求項2記載の磁気素子において、前記強磁性層と前記強磁性体からなる金属層のうち、一方のスピン方向を変化させることにより磁気抵抗効果を発現させることを特徴とする磁気素子。

【請求項5】 請求項1または請求項2記載の磁気素子において、前記強磁性層に形成された離散準位を制御する電極を具備することを特徴とする磁気素子。

【請求項6】 強磁性層または、強磁性体が誘電体で分断された強磁性層と、誘電体層との積層膜を有する磁気素子であって、室温で30%以上の磁気抵抗変化率を示すことを特徴とする磁気素子。

【請求項7】 強磁性層または、強磁性体が誘電体で分断された強磁性層と、誘電体層との積層膜を有する磁気素子であって、室温で印加電圧に基づいて増加する磁気抵抗変化率を有することを特徴とする磁気素子。

【請求項8】 請求項1ないし請求項7のいずれか1項記載の磁気素子を具備することを特徴とする磁気部品。

【請求項9】 請求項1ないし請求項7のいずれか1項記載の磁気素子を具備することを特徴とする電子部品。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、強磁性体と誘電体とを含む磁気素子と、それを用いた磁気ヘッド、磁気センサ、磁気記憶素子、ダイオード素子などの各種の磁気部品および電子部品に関する。

【0002】

【従来の技術】磁気抵抗効果は、ある種の磁性体に磁界

を加えることにより電気抵抗が変化する現象である。このような磁気抵抗効果を利用した磁気抵抗効果素子（以下、MR素子と記す）は、磁気ヘッド、磁気センサなどに使用されており、さらには磁気抵抗効果メモリなどが提案されている。このようなMR素子には、外部磁界に対する感度が大きいこと、応答速度が早いことなどが要求されている。

【0003】強磁性体を用いたMR素子は、温度安定性に優れ、使用温度範囲が広いというような特徴を有しており、従来からNiFe合金などの強磁性合金の薄膜が使用されてきた。しかし、その磁気抵抗変化率は2~3%程度と小さいため、これを用いた磁気ヘッドでは十分な感度が得られないという問題があった。

【0004】一方、近年、強磁性層と非磁性金属層とを数nmの周期で積層した積層膜が、スピンの方向に依存して巨大磁気抵抗効果を示す材料として注目されている。例えば、Fe/Cr人工格子膜(Phys. Rev. Lett. 61, 2472(1988))、Co/Cu人工格子膜(J. Mag. Mag. Mater. 94, L1(1991))などの強磁性層間の相互作用を反強磁性結合させたものが見出されている。しかし、強磁性層間の反強磁性結合を利用した金属人工格子膜は反強磁性交換結合定数が大きいため、飽和磁界が大きく、またヒステリシスも非常に大きいという問題を有している。

【0005】飽和磁界を小さくする目的で、強磁性層/非磁性層/強磁性層のサンドイッチ積層膜の一方の強磁性層に交換バイアスを及ぼして磁化を固定し、他方の強磁性層を外部磁界により磁化反転させることによって、2つの強磁性層の磁化方向の相対角度を変化させる、いわゆるスピンバルブ膜が開発されている。しかし、スピンバルブ膜は積層膜の抵抗が小さく出力電圧が小さいために、大きな出力電圧を得るためにはセンス電流を大きくする必要がある。このため、スピンバルブ膜を使用した磁気ヘッドでは、エレクトロマイグレーションなどの問題が存在する。MR素子を用いたメモリなどを考慮しても、非磁性金属を中間層とした場合には大きな出力電圧が得られないという同様の問題が存在する。

【0006】また、上述したような多層膜（金属人工格子膜）に対して電流を膜面に垂直方向に流す、いわゆる垂直磁気抵抗効果を利用すると、非常に大きな磁気抵抗変化率が得られることが知られている(Phys. Rev. Lett. 66, 3060(1991))。しかし、この場合には電流パスが小さく、また各層が金属であるために抵抗が小さいことから、サブミクロン以下に微細加工しないと室温での磁気抵抗効果を測定できないという問題がある。

【0007】さらに、上述した多層膜構造とは異なり、非磁性金属マトリックス中に磁性超微粒子を分散させた、いわゆるグラニューラ磁性膜もスピンに依存した伝導に基づく巨大磁気抵抗効果を示すことが見出されている(Phys. Rev. Lett. 68, 3745(1992))。このようなグラニューラ磁性膜では、磁界を加えない状態では磁性超

微粒子の性質により、各磁性超微粒子のスピンの向きが互いに不規則な方向を向いているために電気抵抗が大きく、磁界を加えて各スピンを磁界の方向に揃えると抵抗が低下し、その結果スピンに依存した磁気抵抗効果が発現する。しかし、この場合の磁性超微粒子は超常磁性を示すため、飽和磁界が本質的に非常に大きいという問題を有している。

【0008】一方、スピン依存散乱とはメカニズムを異にする、強磁性トンネル効果に基づく巨大磁気抵抗効果が見出されている。これは2つの強磁性金属層の間に絶縁層を挿入したサンドイッチ膜において、膜面に垂直に電流を流して絶縁層のトンネル電流を利用するものであり、例えば保磁力の小さい強磁性金属層のスピンのみを反転させると、2つの強磁性金属層のスピンの向きが互いに平行なときと反平行なときでトンネル電流が大きく異なるために巨大磁気抵抗効果が得られる。

【0009】このような強磁性トンネル接合素子は構造が簡単であり、また比較的大きな磁気抵抗変化率が得られるものの、数 μm^2 程度の微細素子に加工すると抵抗値が $\text{M}\Omega$ と大きくなり、応答速度や高周波特性などの点で問題を有している。さらに、所望の出力電圧値を得るために強磁性トンネル接合素子に流す電流値を増やすと、磁気抵抗変化率が大幅に減少するという問題を有している(Phys. Rev. Lett. 74, 3273 (1995))。

【0010】また、 $\text{Fe}/\text{Ge}/\text{Fe}/\text{Ge}$ /強磁性体構造の2重トンネル接合において、スピン偏極共鳴トンネル効果により大きなMR変化率が得られることが理論上予想されている(Phys. Rev. B56, 5484(1997))。しかし、これは極低温(8K)での結果であり、室温でこのような現象が起こることは予想されていないと共に、実際に2重トンネル接合を作製した例は報告されていない。

【0011】さらに、 Al_2O_3 /グラニューラー(Co 微粒子- Al_2O_3 マトリックス)/ Al_2O_3 構造を磁性層で挟んだトンネル接合が報告されている(Phys. Rev. B56, R5747 (1997))。しかし、この場合の Co 微粒子は数nmと小さく120K以上では超常磁性であり、スピンの向きが不規則であるため、低温でも0.5T以上と大きな磁場をかけなければグラニューラー層がスピンスイッチしない。このため、電圧を印加してもスピン偏極共鳴トンネル効果は観測されていない。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、スピン依存散乱を利用した磁気抵抗効果素子において、反強磁性結合を利用した金属人工格子膜は、飽和磁界やヒステリシスが非常に大きいという問題を有している。また、スピンバルブ膜では大きな出力電圧が大きなセンス電流を流さないと得られず、エレクトロマイグレーションが発生しやすいというような問題がある。さらに、グラニューラー磁性膜は磁性超微粒子が超常磁性を示すため、飽和磁界が本質的に大きいという問題を有してい

る。

【0013】一方、強磁性トンネル接合素子は、室温で比較的大きな磁気抵抗変化率が得られ、また飽和磁界が小さいというような特徴を有する反面、微細素子に加工した際に抵抗が $\text{M}\Omega$ と大きくなり、これにより応答速度や高周波特性などの点で問題があると共に、所望の出力電圧値を得るために素子に流す電流値を増やすと磁気抵抗変化率が大幅に減少するという問題を有している。

【0014】本発明はこのような課題に対処するためになされたものであり、大きな磁気抵抗変化率および小さい飽和磁界を有し、かつ微細素子形状に加工しても抵抗値が小さく、また素子に流す電流(または電圧)値を増やしても磁気抵抗変化率の減少が少なく、大きな出力電圧(または出力電流)が得られる磁気素子、およびそれを用いた磁気部品、電子部品を提供することを目的としている。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明における第1の磁気素子は、請求項1に記載したように、少なくとも1層の強磁性層と、前記強磁性層を挟持するように配置された誘電体層と、前記誘電体層を介して前記強磁性層と積層配置された第1および第2の金属層とを有する積層膜を具備し、前記第1および第2の金属層のうち少なくとも一方は強磁性体からなり、かつ前記積層膜は前記強磁性層に形成された離散準位を介してスピン偏極トンネル効果を示すことを特徴としている。

【0016】第2の磁気素子は、請求項2に記載したように、強磁性体が誘電体で分断された強磁性層と、前記強磁性層を挟持するように配置された誘電体層と、前記誘電体層を介して前記強磁性層と積層配置された第1および第2の金属層とを有する積層膜を具備し、前記第1および第2の金属層のうち少なくとも一方は強磁性体からなり、かつ前記積層膜は前記強磁性層に形成された離散準位を介してスピン偏極トンネル効果を示すことを特徴としている。

【0017】強磁性層または、強磁性体が誘電体で分断された強磁性層を、誘電体層で挟持して作製した2重以上の多重強磁性トンネル接合において、これらの強磁性層に離散準位が形成されると、この離散準位を介してスピン偏極トンネル効果が得られる。そして、このスピン偏極トンネル効果により大きな磁気抵抗変化率(MR変化率)を得ることができる。このように、本発明者らは実際に多重強磁性トンネル接合を作製した結果、室温で強磁性層または、強磁性体が誘電体で分断された強磁性層に形成された離散準位を介したスピン偏極トンネル効果によって、大きなMR変化率が得られることを見出した。

【0018】図1に、2重の多重強磁性トンネル接合におけるエネルギーポテンシャル図を示す。図1(a)は第1の強磁性層(第1の金属層)1/誘電体層2/第2

の強磁性層3/誘電体層4/第3の強磁性層(第2の金属層)5からなる2重強磁性トンネル接合を、また図1(b)は第1の強磁性層1(第1の金属層)/誘電体層2/第2の強磁性層3/誘電体層4/金属層(第2の金属層)6からなる2重強磁性トンネル接合を示している。なお、第2の金属層は強磁性体および非磁性体のいずれであってもよい。

【0019】このような2重強磁性トンネル接合において、第2の強磁性層3が十分に薄い場合には、量子効果により第2の強磁性層3にスピンの依存した離散的なエネルギー準位(離散準位)が形成される。すなわち、第2の強磁性層3の離散的なエネルギー準位は交換相互作用のためにスピン分裂しており、上向きスピン(↑)と下向きスピン(↓)ではエネルギーが交換エネルギーの分だけ異なっている。ここで、第1の強磁性層1と第2の強磁性層3のスピンの向きが同じ(図1では上向きスピン(↑))であるとき、2重強磁性トンネル接合にある値以上の電圧を印加すると、第2の強磁性層3に形成された離散準位を介したスピン偏極トンネル効果により抵抗が小さくなる。この状態から一方の強磁性層(例えば第2の強磁性層3)のスピンの向きを反転させると、スピン偏極したスピン電流の透過率が減少して抵抗値が大きくなる。多重強磁性トンネル接合において、このような強磁性層3に形成された離散準位を介して得られるスピン偏極トンネル効果を利用することによって、例えば室温で30%を超えるような大きなMR変化率を得ることができる。

【0020】上記したスピン偏極トンネル効果に基づく磁気抵抗効果において、素子抵抗は多重強磁性トンネル接合に印加する電圧がある電圧(しきい電圧)を超えると減少する。これはスピン依存共鳴トンネル効果に基づくものであると考えられる。すなわち、多重強磁性トンネル接合に電圧を印加すると、第1の強磁性層1から第3の強磁性層5または金属層6にトンネル電流が流れる。そして、この電圧がある値を超えると、第2の強磁性層3内の離散準位のうちの1つ(図1では↑スピン)が第1の強磁性層1の伝導電子のエネルギーと同じレベル(共鳴状態)になる。この共鳴状態にある離散準位のスピンと同じ向きのスピンを持つ第1の強磁性層1中の伝導電子は、誘電体層2、4により反射されることなく第1の強磁性層1から第3の強磁性層5または金属層6にトンネル伝導する。これがスピン依存共鳴トンネル効果である。このように、第2の強磁性層3内の離散準位を制御することによって、スピン依存共鳴トンネル効果に基づく非常に大きな磁気抵抗効果が得られる。

【0021】誘電体で分断された強磁性層を用いた多重強磁性トンネル接合においても、同様な離散準位を介してスピン偏極トンネル効果が得られる。すなわち、誘電体で分断された強磁性層の膜厚は十分に薄く、また周囲を誘電体マトリックスによって囲まれているため、

強磁性体のエネルギー準位は量子化されて離散的になり、しかもスピン分裂している。このような強磁性層に形成された離散準位を介してスピン偏極トンネル効果が得られ、このスピン偏極トンネル効果に基づいて室温で30%を超えるような大きなMR変化率が得られる。

【0022】このように、本発明の磁気素子は、強磁性層または誘電体で分断された強磁性層と誘電体層との積層膜を有する磁気素子であって、室温下で30%以上の磁気抵抗変化率を示すことを特徴としている。また、本発明の磁気素子は、強磁性層または誘電体で分断された強磁性層と誘電体層との積層膜を有する磁気素子であって、室温下で印加電圧に基づいて増加する磁気抵抗変化率を有することを特徴としている。

【0023】本発明の磁気素子によれば、上記したように室温下で30%以上というような大きなMR変化率が得られ、また素子抵抗自体も低く、さらに素子に流す電流(または電圧)値を増やしてもMR変化率の減少がなく、よって大きな出力電圧(または出力電流)を得ることが可能となる。

【0024】本発明の磁気部品は、上述したような本発明の磁気素子を具備することを特徴としている。また、本発明の電子部品は、上述したような本発明の磁気素子を具備することを特徴としている。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明を実施するための形態について説明する。

【0026】図2は本発明の第1の磁気素子の基本的な膜構造(基本構成)を示す図である。図2に示す磁気素子は、第1の金属層11/誘電体層12/強磁性層13/誘電体層14/第2の金属層15からなる積層膜を有している。このような積層膜において、第1の金属層11は強磁性体からなる。一方、第2の金属層15は強磁性体および非磁性体のいずれであってもよい。なお、第1および第2の金属層11、15は電極層である。

【0027】強磁性層13は2つの薄い誘電体層12、14、すなわち2つのトンネル層によって挟まれており、各誘電体層12、14を介して第1の金属層(強磁性体)11と強磁性層13との間および強磁性層13と第2の金属層(強磁性体または非磁性金属)15との間にそれぞれトンネル電流が流れるように構成されている。すなわち、誘電体層12、14を介して、第1の金属層11、強磁性層13および第2の金属層15の間に、2重の多重強磁性トンネル接合が形成されている。

このような積層膜において、強磁性層13が十分に薄い場合には、図1に示したように、量子効果により強磁性層13にスピンの依存した離散準位が形成される。そして、前述したように、強磁性体からなる第1の金属層11と第2の金属層15との間に適当な電圧を印加し、強磁性層13に形成された離散準位を制御(シフト)することによって、スピン偏極トンネル効果を生じさせる

ことができる。また、図24に示すように、強磁性層13に形成された離散準位を制御(シフト)する電極(ゲート電極)Gを設けてもよい。この際の強磁性層13は、後述する誘電体で分断された強磁性層であってもよい。この際に、第1の金属層11および強磁性層13の一方のスピン方向を変化させることによって、スピン偏極トンネル効果、さらにはスピン偏極共鳴トンネル効果に基づく非常に大きなMR変化率を得ることができる。

【0028】さらに、本発明の第1の磁気素子において、離散準位を形成する強磁性層13は1層に限られるものではなく、強磁性層13を複数層とすると共に、これら複数の強磁性層を誘電体層と交互に積層配置して、3重以上の多重強磁性トンネル接合を有する構成とすることもできる。すなわち、第1の金属層11/誘電体層12/(強磁性層13/誘電体層14)_N/第2の金属層15構造の積層膜(N \geq 1:積層数)を使用することができる。このような多重強磁性トンネル接合においても、誘電体層12、14に挟まれた強磁性層13に上向きスピン(\uparrow)と下向きスピン(\downarrow)とでエネルギーが異なる量子準位を形成することによって、スピン偏極トンネル効果に基づく大きなMR変化率が得られる。

【0029】図1に示した磁気素子において、強磁性層13および強磁性体からなる第1の金属層11(第2の金属層15に強磁性体を用いる場合を含む)の構成材料は、特に限定されるものではなく、パーマロイに代表されるFe-Ni合金、強磁性を示すFe、Co、Niおよびそれらを含む合金、NiMnSb、PtMnSbのようなホイスラー合金などのハーフメタル、CrO₂、マグネタイト、Mnペロブスカイトなどの酸化物系のハーフメタル、アモルファス合金などの種々の軟磁性材料から、Co-Pt合金、Fe-Pt合金、遷移金属-希土類合金などの硬磁性材料まで、種々の強磁性材料を使用することができる。

【0030】また、第1の金属層11および強磁性層13のうち、一方のスピン方向のみを変化させるためには、例えば強磁性体の保磁力の差を利用してもよいし、また反強磁性膜を積層配置して交換結合により強磁性層の磁化を固定するようにしてもよい。強磁性層13の厚さは、上述したように量子効果によりスピンに依存した離散的なエネルギー準位が形成されるような厚さ、具体的には10nm以下程度とする。より好ましくは5nm以下である。第1および第2の金属層11、15の厚さは特に限定されるものではなく、例えば0.1~100nm程度とすることが好ましい。

【0031】上述した実施形態では、強磁性体と誘電体との2重以上の多重トンネル接合を有する磁気素子について説明したが、誘電体で分断された強磁性層を用いた場合においても、同様なスピン偏極トンネル効果(さらにはスピン偏極共鳴トンネル効果)を室温で得ることが

できる。これが本発明の第2の磁気素子である。

【0032】すなわち、図3に示す磁気素子は、第1の金属層(強磁性体)11/誘電体層12/誘電体で分断された強磁性層16/誘電体層14/第2の金属層(強磁性体または非磁性金属)15からなる積層膜を有している。このような積層膜において、誘電体で分断された強磁性層16は強磁性体18が誘電体17で分散されたものであり、この誘電体で分断された強磁性層16は超常磁性を示さず、有限の保磁力を持つ強磁性体である。誘電体で分断された強磁性層16は多少ばらつきがあってもよく、誘電体12、14で分断されていけばよい。

【0033】このような積層膜12、16、14を挟んで、第1の電極層11と第2の電極層13とが近接配置されており、第1の電極層11と誘電体で分断された強磁性層12および誘電体で分断された強磁性層12と第2の電極層13との間に、それぞれトンネル電流が流れるように構成されている。すなわち、誘電体で分断された強磁性層12と電極層11、13との間には2重トンネル接合が形成されている。

【0034】誘電体で分断された強磁性層16は、2つの薄い誘電体層12、14、すなわち2つのトンネル層によって挟まれており、各誘電体層12、14を介して第1の金属層(強磁性体)11と誘電体で分断された強磁性層16との間および誘電体で分断された強磁性層16と第2の金属層(強磁性体または非磁性金属)15との間にそれぞれトンネル電流が流れるように構成されている。すなわち、誘電体層12、14を介して、第1の金属層11、誘電体で分断された強磁性層16および第2の金属層15の間に、2重の多重強磁性トンネル接合が形成されている。

【0035】このような積層膜において、誘電体で分断された強磁性層16中の強磁性体18の厚さは十分に薄いため、強磁性体18のエネルギー準位は量子化されて離散的になり、しかもスピン分裂している。従って、前述した第1の実施形態と同様に、強磁性体からなる第1の金属層11と第2の金属層15との間に適当な電圧を印加し、誘電体で分断された強磁性層16に形成された離散準位を制御(シフト)することによって、スピン偏極トンネル効果を生じさせることができる。この際に、第1の金属層11および誘電体で分断された強磁性層16の一方のスピン方向を変化させることによって、スピン偏極トンネル効果、さらにはスピン偏極共鳴トンネル効果に基づく非常に大きなMR変化率、例えば室温で30%以上というような大きなMR変化率を得ることができる。

【0036】さらに、本発明の第2の磁気素子において、誘電体で分断された強磁性層16は1層に限られるものではなく、例えば図4に示すように、複数の誘電体で分断された強磁性層16a、16b、16cと誘電体層14a、14b、14cとを交互に積層配置して、3

重以上の多重強磁性トンネル接合を有する構成とすることもできる。すなわち、第1の金属層11／誘電体層12／（誘電体で分断された強磁性層16／誘電体層14）_N／第2の金属層15構造の積層膜（ $N \geq 1$ ：積層数）を使用することができる。このような構成においても、誘電体で分断された強磁性層の離散準位を制御することによって、スピン偏極トンネル効果に基づく大きなMR変化率が得られる。

【0037】図5は基板面に沿って電流を流すプレーナ型素子であり、誘電体で分断された強磁性層16a、16bと誘電体層14a、14b、14cとを交互に積層した積層膜上に、第1の金属層（強磁性体）11と第2の金属層（強磁性体または非磁性金属）15とが分離された状態で配置されている。このようなプレーナ型磁気素子は微細加工技術を用いて容易に作製することができる。

【0038】図3～図5に示した磁気素子において、誘電体で分断された強磁性層16は上述したように誘電体17で強磁性体18を分断したものである。この誘電体で分断された強磁性層16のスピンは超常磁性を示さず、有限の保磁力を持つ強磁性体であり、理想的にはそのスピンは一方向に揃っていることが望ましい。この場合、誘電体で分断された強磁性層16に量子準位が形成される。

【0039】強磁性体18には種々の強磁性材料を使用することができる。例えば、誘電体で分断された強磁性層16を磁化固定層とする場合には、磁気異方性の大きいCo、Co-Pt合金、Fe-Pt合金、遷移金属-希土類合金などを用いることが好ましい。誘電体で分断された強磁性層16を軟磁性層として用いる場合、特に磁性微粒子18の構成材料は限定されるものではなく、Fe、Co、Niおよびそれらを含む合金、スピン分極率の大きいマグネタイト、 CrO_2 、 R XMnO_{3-y} （Rは希土類金属、XはCa、BaおよびSrから選ばれる少なくとも1種の元素、yは0に近い値）などの酸化物系磁性材料、 Ni Mn Sb 、 Pt Mn Sb などのホイスラー合金などを使用することができる。

【0040】また、誘電体で分断された強磁性層16を磁化固定層とする場合においても、例えば誘電体で分断された強磁性層16に接してFeMn、PtMn、IrMn、PtCrMn、NiMn、NiOなどの反強磁性膜を配置して、誘電体で分断された強磁性層16のスピンを一方向に固着すれば、種々の強磁性材料を強磁性体18に適用することができる。さらに、誘電体で分断された強磁性層16の両端部に一对の硬磁性膜を隣接配置し、この硬磁性膜から誘電体で分断された強磁性層16にバイアス磁界を印加することによってスピンを固定するようにしてもよい。

【0041】誘電体17（および誘電体層12、14）としては、 Al_2O_3 、 SiO_2 、MgO、AlN、B

i_2O_3 、 MgF_2 、 CaF_2 などの種々の誘電体材料を使用することができ、このような誘電体17で強磁性体18を分断することで強磁性層16が得られる。なお、上記した酸化膜、窒化膜、フッ化膜などでは、それぞれの元素の欠損が一般的に存在するが、そのような誘電体膜であっても何等問題はない。

【0042】一方、強磁性体からなる第1の金属層11（第2の金属層15に強磁性体を用いる場合を含む）の構成材料については、前述した実施形態で示したように、種々の強磁性材料を使用することができる。また、強磁性材料はAg、Cu、Au、Ta、B、C、Pd、Pt、Zr、Ir、W、Mo、Nbなどの非磁性元素を多少含んでいても、強磁性を失わない限り特に問題はない。

【0043】また、第2の金属層15を強磁性体で構成する場合、第1の金属層11と第2の金属層15とは必ずしも同じ材料で構成する必要はない。また、これら強磁性層は単層構造に限らず、非磁性層を介して配置した2つの強磁性層を有し、これら強磁性層の磁化を互いに反平行となるように結合させた積層膜で、強磁性膜14を構成することもできる。このような反平行に結合させた積層膜によれば、強磁性膜14から磁束が外部に漏れることを防ぐことができる。

【0044】さらに、強磁性層と半導体層とを交互に積層した積層膜を、第1の金属層11として用いることもできる。この場合には、熱や光照射によりスピンを反転させることができるため、磁界が不要になるという特徴がある。このような積層膜に用いる半導体としては、B20構造のFeSi合金などが挙げられる。

【0045】上述した誘電体で分断された強磁性層16および強磁性層（少なくとも第1の金属層11）は、それぞれ膜面内に一軸磁気異方性を有することが望ましい。これによって、急峻な磁化反転を起こすことができると共に、磁化状態を安定して保持することができる。

【0046】また、誘電体で分断された強磁性層16、第1の金属層11および第2の金属層15の膜厚は特に限定されるものではないが、例えば0.1～200nmの範囲とすることが好ましい。このうち、誘電体で分断された強磁性層16の膜厚はできるだけ薄い方が好ましいが、作製上均一な膜厚を維持することができ、またトンネル電流に対して悪影響を及ぼさない膜厚であればよく、例えば10nm以下とすることが好ましい。誘電体層12、14の厚さは1nm～数nmというように薄いほうが好ましいが、特に制限はない。なお、作製上10nm以下とすることが好ましい。

【0047】このような各層からなる磁気素子は典型的には薄膜状であり、分子線エピタキシー（MBE）法、各種スパッタ法、蒸着法などの通常の薄膜形成方法を適用して作製することができる。また、上述した積層膜を作製する基板は特に限定されるものではなく、結晶質お

よび非晶質、または磁性体および非磁性体の区別なく、種々の基板を使用することができる。例えば、 Si 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、スピネル、 MgO 、 AlN などの各種基板を使用することができる。

【0048】以上説明したように、本発明の磁気素子は室温下で印加電圧に基づいてMR変化率が増加し、例えば室温下で30%以上というような大きなMR変化率を得ることができる。このような本発明の磁気素子は、磁気抵抗効果型磁気ヘッド、磁気センサ、磁気記憶素子などの磁気抵抗効果を利用した磁気部品などに適用することができる。さらに、本発明の磁気素子に生じる電流-電圧特性の負性抵抗を利用して、スピンドायオード素子などを作製することもできる。また、半導体トランジスタなどの従来の半導体素子と組み合わせて使用することも可能である。

【0049】次に、本発明の磁気素子を磁気ヘッドに適用する場合の素子構造について説明する。図6～図8は本発明の磁気素子を磁気ヘッドとして使用する場合の膜構造例を示す断面図である。これらの図において、21は離散準位が形成される強磁性層または誘電体で分断された強磁性層（誘電体との多層積層膜を含む）、22は強磁性層（第1の金属層）、23は強磁性層（第2の金属層）、24は誘電体層である。なお、図8において、25は強磁性層または誘電体で分断された強磁性層と誘電体との多層積層膜を示す。

【0050】図6～図8に示すように、本発明の磁気素子を磁気ヘッドとして使用する場合には、強磁性層22、23や離散準位が形成される強磁性層または誘電体で分断された強磁性層21、25に接して、 FeMn 、 PtMn 、 IrMn 、 PtCrMn 、 NiMn 、 NiO 、 Fe_2O_3 などの反強磁性膜26を配置し、この反強磁性膜26からバイアス磁界を印加することによって、磁性層のスピンを一方向に固着することが好ましい。

【0051】また、図6～図8に示す各磁気ヘッド用膜構造において、各層の磁気特性（軟磁性および硬磁性）を組合せることで良好な磁気ヘッドを構成することができる。例えば、図6において離散準位が形成される強磁性層または誘電体で分断された強磁性層21は軟磁性層、強磁性層22、23は硬磁性層である。図7において、強磁性層22は軟磁性層、離散準位が形成される強磁性層または誘電体で分断された強磁性層21と強磁性層23は硬磁性層である。図8において、強磁性層22は軟磁性層、離散準位が形成される強磁性層または誘電体で分断された強磁性層と誘電体との多層積層膜25は硬磁性層である。

【0052】上述したような組合せにおいて、磁場中成膜、磁場中熱処理により隣り合う磁性層のスピンを略直交させることによって、HDDの記録媒体からの漏れ磁束に対して良好な線形応答性が得られる。このような構

造はいかなる磁気ヘッド構造においても使用することができる。

【0053】次に、本発明の磁気素子を磁気記憶素子に適用する場合の素子構造について説明する。図9～図12は本発明の磁気素子を磁気記憶素子として使用する場合の膜構造例を示す断面図である。

【0054】図9および図10は破壊読出しを想定した場合の磁気記憶素子の素子構造である。この場合には、強磁性層22、23や離散準位が形成される強磁性層または誘電体で分断された強磁性層21、25に接して、 FeMn 、 PtMn 、 IrMn 、 PtCrMn 、 NiMn 、 NiO などの反強磁性膜26を配置し、この反強磁性膜26からバイアス磁界を印加することによって、磁性層のスピンを一方向に固着することが好ましい。図9において、強磁性層22は軟磁性層、離散準位が形成される強磁性層または誘電体で分断された強磁性層21と強磁性層23は硬磁性層である。図10において、強磁性層22は軟磁性層、離散準位が形成される強磁性層または誘電体で分断された強磁性層と誘電体との多層積層膜25は硬磁性層である。

【0055】また、図11および図12は非破壊読出しを想定した場合の磁気記憶素子の素子構造であり、軟磁性層と硬磁性層とを適当に組合せることによって、読み出し層および書き込み層を設け、電流磁界で軟磁性層の磁化を反転させることにより、書き込み層の情報を非破壊で読み出すことができる。図11において、強磁性層22は軟磁性層、離散準位が形成される強磁性層または誘電体で分断された強磁性層21と強磁性層23は硬磁性層である。図12において、強磁性層22は軟磁性層、離散準位が形成される強磁性層または誘電体で分断された強磁性層21は硬磁性層であり、第2の金属層は非磁性金属層27である。

【0056】強磁性層22、23には、図13に示すように、層間の相互作用が反強磁性的に結合した磁性体28/非磁性体29/磁性体30構造の積層膜を用いてもよい。非磁性体29として半導体を用いた場合には、光によりスピンスイッチさせることができる。

【0057】そして、図14に示すように、上述したような本発明の磁気素子31をトランジスタ31、書き込みライン32、読み出しライン33、ビットライン34などと共にセル状に基板上に微細加工することによって、磁気記録装置を作製することができる。

【0058】なお、前述したように、本発明の磁気素子は磁気ヘッドや磁気記憶素子などの磁気部品に限らず、本発明の磁気素子に生じる電流-電圧特性の負性抵抗を利用して、スピンドायオード素子などの電子部品を作製することもできる。

【0059】

【実施例】以下に、この発明の実施例について説明する。

【0060】なお、以下に示す各実施例では、 $100 \times 100 \mu\text{m}$ と比較的大きな接合面積で試料を作製したため、電極の抵抗を小さくするために強磁性電極の下地とオーバーレイヤーとして厚さ 200nm のAu層を設けている。しかし、実際に使用する際には数 μm と小さいため、特にAu層は必要ない。

【0061】実施例1

スパッタ装置を用いて、Fe、 $\text{Co}_5\text{Fe}_3\text{Pt}_2$ 、AlをターゲットとしてArガス圧 $1 \times 10^{-3}\text{Torr}$ で真空中成膜（一軸異方性の付与）を実施した。まず、 $\text{Si}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 基板上にメタルマスクを用いてAu (200nm) / Fe (50nm) / Co-Fe-Pt (0.5nm) 電極を積層し、真空中でメタルマスクを交換した後にAlを 1nm 成膜し、Al膜をプラズマ酸化した。

【0062】次に、上記した Al_2O_3 膜上にCo-Fe-Ptを 2nm を成膜し、さらにAlを 1nm 成膜してプラズマ酸化した後、ネガレジストを層間絶縁層として用い、その上に Co_9Fe (40nm) / Au (200nm) 電極を成膜した。このようにして、Fe / Co-Fe-Pt / Al_2O_3 / Co-Fe-Pt / Al_2O_3 / Co_9Fe 構造（図2に示した構造）の $100 \mu\text{m}^2$ 角の2重トンネル接合を作製した。

【0063】このようにして作製した試料のカー効果を測定した結果、保磁力が大きいCo-Fe-Ptと保磁力が比較的小さいFe / Co-Fe-Pt、 Co_9Fe のヒステリシス曲線の足し合わせである、保磁力差が存在する2段のヒステリシス曲線が観測された。

【0064】また、試料の磁気抵抗変化率、素子電圧の印加電圧依存性の測定結果を図15に示す。素子に印加する電圧値を増やしていくと、あるしきい電圧値以上で素子抵抗が急激に減少して磁気抵抗効果が増大している。これはCo-Fe-Ptに形成された量子力学的離散準位を介したスピン依存トンネル効果に基づくものである。このことは素子に印加する電圧または素子に流す電流を適当に選ぶことによって、MR値が大きく低抵抗の素子が実現できることを示している。

【0065】さらに、図16に示した磁気抵抗効果曲線を見ると、Feおよび Co_9Fe は約 10Oe という小さな磁場で急峻に磁気抵抗効果が変化し、磁気抵抗効果型ヘッド、磁気センサ、磁気記憶素子として良好な特性が得られていることが分かる。なお、誘電体層として SiO_2 、AlN、MgO、 Bi_2O_3 、 MgF_2 、 CaF_2 を用いた場合においても、同様の傾向を示した。

【0066】実施例2

スパッタ装置を用いて、Arガス圧 $1 \times 10^{-3}\text{Torr}$ で真空中成膜（一軸異方性の付与）を行った。まず、熱酸化Si基板上にメタルマスクを用いてAu (200nm) / Fe (40nm) を成膜した後、 Co_8Pt_2 膜を 10nm 成膜した。次いで、メタルマスクを交換した後に Co_8Pt_2 と SiO_2 をターゲットとして、 Co_8Pt_2 と SiO_2 の体

積比が $1:1$ になるように交互スパッタを行った。その際、基板バイアスを 400W かけながら成膜を行って、(SiO_2 で分断された Co_8Pt_2 層 / SiO_2) の層状積層膜を作製した。

【0067】その上に SiO_2 を 1nm 成膜した後、メタルマスクを交換して Co_8Pt_2 (20.5nm) / Co_9Fe (40nm) / Au (200nm) を形成した。このようにして、Fe / Co_8Pt_2 / SiO_2 / (SiO_2 で分断された Co_8Pt_2 / SiO_2) / Co_8Pt_2 / Co_9Fe 構造の $100 \mu\text{m}^2$ 角の2重トンネル接合（図3に示した構造）、Fe / Co_8Pt_2 / SiO_2 / (SiO_2 で分断された Co_8Pt_2 / SiO_2)₂ / Co_8Pt_2 / Co_9Fe 構造の $100 \mu\text{m}^2$ 角の3重トンネル接合を作製した。

【0068】このようにして作製した各試料のカー効果を測定した結果、保磁力が大きい SiO_2 で分断された Co_8Pt_2 層と保磁力が比較的小さいFe / Co_8Pt_2 、 Co_8Pt_2 / Co_9Fe のヒステリシス曲線の足し合わせである、保磁力差が存在する2段のヒステリシス曲線が観測された。

【0069】また、これら各試料の磁気抵抗変化率、素子電圧の印加電圧依存性の測定結果を図17に示す。図17から素子に印加する電圧値を増やしていくとあるしきい電圧値以上で素子抵抗が減少し、磁気抵抗効果が増大する Co_8Pt_2 に形成された離散準位を介したスピン依存トンネル効果が得られていることが分かる。さらに、図18に示すように、印加電圧に対してスピンの平行、反平行の場合の差 ΔR は増大している。このことは素子に印加する電圧または素子に流す電流を適当に選ぶことによって、図19に示すようにMR値が大きく低抵抗の素子が実現できることを示している。さらに、磁気抵抗効果型ヘッド、磁気センサ、磁気記憶素子として良好な特性を示した。

【0070】なお、誘電体層が Al_2O_3 、AlN、MgO、 Bi_2O_3 、 MgF_2 、 CaF_2 を用いた場合にも同様の傾向を示した。

【0071】実施例3

スパッタ装置を用いると共に、メタルマスクとリフトオフによる微細パターンを利用して、熱酸化Si基板上に図5に示した素子構造を作製した。まず、 Co_8Pt_2 と SiO_2 をターゲットとして、 Co_8Pt_2 と SiO_2 の体積比が $1:1$ になるように交互スパッタを行った。その際、基板にメタルマスクをかぶせると共に、基板バイアスを 400W かけながら成膜を行った。その後、 SiO_2 を 1nm 成膜して、 $100 \mu\text{m}^2$ 角の SiO_2 / (SiO_2 で分断された Co_8Pt_2 / SiO_2)₂ 構造の積層膜を作製した。その際のArガス圧は $1 \times 10^{-3}\text{Torr}$ とした。

【0072】その上に、Crマスク露光器を用いてレジストをパターンニングした後、上部強磁性層として Co_8

$\text{Fe}_2/\text{Ni}_8\text{Fe}_2$ を成膜し、リフトオフにより $20\mu\text{m}^2$ 角のパターンを作製した。このようにして、図5に示した構造を有するトンネル接合を作製した。その後、各試料を 200°C で磁場中熱処理して一軸異方性を付与した。

【0073】このようにして作製した試料の磁気抵抗変化率、素子電圧の印加電圧依存性を測定した。その結果を図20に示す。図20から素子に印加する電圧値を増やしていくとあるしきい電圧値以上で素子抵抗が減少して、磁気抵抗効果が増大するスピン依存共鳴トンネル効果が得られていることが分かる。このことは素子に印加する電圧または素子に流す電流を適当に選ぶことによって、MR値が大きく低抵抗の素子が実現できることを示している。

【0074】また、図21に示す磁気抵抗効果曲線を見ると、 $\text{Co}_8\text{Fe}_2/\text{Ni}_8\text{Fe}_2$ 層は約 60Oe という小さな磁場で急峻に磁気抵抗効果が変化し、磁気抵抗効果型ヘッド、磁気センサ、磁気記憶素子として良好な特性が得られていることが分かる。

【0075】なお、誘電体層として Al_2O_3 、 AlN 、 MgO 、 Bi_2O_3 、 MgF_2 、 CaF_2 を用いた場合においても同様の傾向を示した。

【0076】実施例4

スパッタ装置およびメタルマスクを用いて、まず熱酸化 Si 基板上に Au (200nm) / Ir-Mn (15nm) / Co_9Fe (20nm) を Ar ガス圧 $1 \times 10^{-8}\text{Torr}$ で成膜した。次いで、 Co_8Pd_2 と Al_2O_3 をターゲットとして、 Co_8Pd_2 と Al_2O_3 の体積比が 1:1 になるように Ar ガス圧で $1 \times 10^{-8}\text{Torr}$ 、 O_2 ガス圧 $1 \times 10^{-5}\text{Torr}$ で交互スパッタを行った。その際、基板バイアスを 300W かけながら成膜を行った。

【0077】次に、 Al_2O_3 (1nm) の cap 層を成膜することによって、 Al_2O_3 / (Al_2O_3 で分断された Co_8Pd_2 / Al_2O_3) 構造の層状積層膜、 Al_2O_3 / (Al_2O_3 で分断された Co_8Pd_2 / Al_2O_3)₂ 構造の層状積層膜を作製した。次に、 Al_2O_3 を層間絶縁膜として用いた後、その上に、 Ar ガス圧 $1 \times 10^{-8}\text{Torr}$ でスパッタして Co_8Pd_2 (0.8nm) / Co_9Fe (10nm) / NiFe (30nm) / Au (200nm) を形成した。このようにして、図7に示した構造の $100\mu\text{m}^2$

m^2 角の2重トンネル接合および3重トンネル接合を作製した。その後、試料を 300°C にて磁場中熱処理して一軸異方性を付与した。

【0078】このようにして作製した試料の磁気抵抗変化率、素子電圧の印加電圧依存性を測定した。その結果を図22に示す。図22から素子に印加する電圧値を増やしていくとあるしきい電圧値以上で素子抵抗が減少して、磁気抵抗効果が増大するスピン依存トンネル効果が得られていることが分かる。このことは素子に印加する電圧または素子に流す電流を適当に選ぶことによって、MR値が大きく低抵抗の素子が実現できることを示している。

【0079】また、図23に示す磁気抵抗効果曲線を見ると、 $\text{Co}_9\text{Fe}/\text{NiFe}$ 層は約 50Oe という小さな磁場で急峻に磁気抵抗効果が変化し、磁気抵抗効果型ヘッド、磁気センサ、磁気記憶素子として良好な特性を有していることが分かる。

【0080】なお、誘電体層として SiO_2 、 AlN 、 MgO 、 Bi_2O_3 、 MgF_2 、 CaF_2 を用いた場合においても、同様の傾向を示した。

【0081】実施例5

スパッタ装置およびメタルマスクを用いて、熱酸化 Si 基板上に表1に示す構造を有する $100\mu\text{m}^2$ 角の多重トンネル接合を作製した。作製方法は実施例1～実施例5と同様とした。

【0082】各試料の磁気抵抗変化率、素子電圧の印加電圧依存性を測定したところ、素子に印加する電圧値を増やしていくとあるしきい電圧値以上で素子抵抗が減少して、磁気抵抗が増大する強磁性層に形成された量子力学的離散準位を介したスピン依存トンネル効果が得られた。これら各試料の抵抗値最小の電流を印加したときの磁気抵抗変化率および素子抵抗を表1に併せて示す。これらは素子に印加する電圧または素子に流す電流を適当に選ぶことによって、MR値が大きく低抵抗の素子が実現できることを示している。また、磁気抵抗効果型ヘッド、磁気センサ、磁気記憶素子として良好な特性が得られた。

【0083】

【表1】

Au (200nm) / 試 料 / Au (200nm)	素子抵抗 (ゼロ磁場) (Ω)	磁気抵抗変化率 (%)
Ni-Fe (20nm) / CoPt2 (10nm) / AlN (1nm) / (AlNで分断されたFe8Pt2/AlN) 2 / Co9Fe (40nm)	0.6	37
NiMnSb (30nm) / SiO2 (1nm) / (SiO2 で分断されたCo7Pd3/SiO2) / Co9Fe (5nm) / Ni-Fe (20nm)	0.45	31
Co (30nm) / Al2O3 (1nm) / (Al2O3で分断されたFe8Pt2/Al2O3) / Co7Fe3 (40nm)	0.4	42
LaSrMnO3-y (30nm) / Co (1nm) / SiO2 (1nm) / (SiO2 で分断されたCo8Pt2/SiO2) / Co9Fe (5nm) / Ni-Fe (20nm)	0.5	31
Fe (30nm) / CaF2 (1nm) / (SiO2 で分断されたCo8Pt2/SiO2) 2 / CoFe (5nm) / Ni-Fe (20nm)	0.7	29
Ni-Fe (20nm) / CoFe (10nm) / AlN (1nm) / (SiO2 で分断されたCo8Pt2/SiO2) 2 / Co9Fe (10nm) / Ni-Fe (20nm)	0.3	41
Pt-Mn (20nm) / Co8Fe2 (10nm) / AlN (1nm) / (AlNで分断されたCo8Pt2/AlN) 2 / Co9Fe (20nm) / Ni-Fe (20nm)	0.5	28
FeMn (20nm) / Ni-Fe (20nm) / Co8Fe2 (3nm) / SiO2 (1nm) / (SiO2 で分断されたCo8Pt2/SiO2) 2 / Co9Fe (2nm) / Ni-Fe (30nm)	0.6	38
Fe (20nm) / CoFe (20nm) / SiO2 (1nm) / Co8Pt2/SiO2/Co9Fe (2nm) / Ni-Fe (30nm)	0.5	39

【0084】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の磁気素子は多重強磁性トンネル接合のスピン偏極トンネル効果に基づいて、室温下で印加電圧に応じて磁気抵抗変化率が増加し、例えば室温下で30%以上というような大きな磁気抵抗変化率が得られる。従って、このような本発明の磁気素子によれば、大きな出力電圧を得ることが可能となり、磁気抵抗効果型ヘッド、磁気センサ、磁気記憶素子などの特性向上に大きく寄与するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 2重強磁性トンネル接合におけるエネルギーポテンシャルを示す図である。

【図2】 本発明の第1の磁気素子の一実施形態の基本膜構造を示す断面図である。

【図3】 本発明の第2の磁気素子の一実施形態の基本膜構造を示す断面図である。

【図4】 図3に示す磁気素子の変形例を示す断面図である。

【図5】 本発明の第2の磁気素子の他の実施形態の基本膜構造を示す断面図である。

【図6】 本発明の磁気素子を磁気ヘッドに適用する際の膜構造の一実施形態を示す断面図である。

【図7】 本発明の磁気素子を磁気ヘッドに適用する際の膜構造の他の実施形態を示す断面図である。

【図8】 本発明の磁気素子を磁気ヘッドに適用する際の膜構造のさらに他の実施形態を示す断面図である。

【図9】 本発明の磁気素子を磁気記録素子に適用する

際の膜構造の一実施形態を示す断面図である。

【図10】 本発明の磁気素子を磁気記録素子に適用する際の膜構造の他の実施形態を示す断面図である。

【図11】 本発明の磁気素子を磁気記録素子に適用する際の膜構造のさらに他の実施形態を示す断面図である。

【図12】 本発明の磁気素子を磁気記録素子に適用する際の膜構造のさらに他の実施形態を示す断面図である。

【図13】 本発明の磁気素子の他の構造例を示す断面図である。

【図14】 本発明の磁気素子を適用した磁気記録素子のセル構造の一例を示す図である。

【図15】 本発明の実施例1による磁気素子の磁気抵抗変化率および素子電流の印加電圧依存性を示す図である。

【図16】 本発明の実施例1による磁気素子の磁気抵抗効果曲線を示す図である。

【図17】 本発明の実施例2による磁気素子の磁気抵抗変化率および素子電流の印加電圧依存性を示す図である。

【図18】 本発明の実施例2による磁気素子のスピンが平行、反平行の場合の差 ΔR の印加電圧依存性を示す図である。

【図19】 本発明の実施例2による磁気素子の磁気抵抗効果曲線を示す図である。

【図20】 本発明の実施例3による磁気素子の磁気抵

抗変化率および素子電流の印加電圧依存性を示す図である。

【図21】 本発明の実施例3による磁気素子の磁気抵抗効果曲線を示す図である。

【図22】 本発明の実施例4による磁気素子の磁気抵抗変化率および素子電流の印加電圧依存性を示す図である。

【図23】 本発明の実施例4による磁気素子の磁気抵抗効果曲線を示す図である。

【図24】 本発明の磁気素子に制御電極を設けた場合の素子概略構造を示す図である。

【符号の説明】

1……第1の強磁性層

2、4、12、14……誘電体層

3……第2の強磁性層

5……第3の強磁性層

6……金属層

11……強磁性体からなる第1の金属層

13……強磁性層

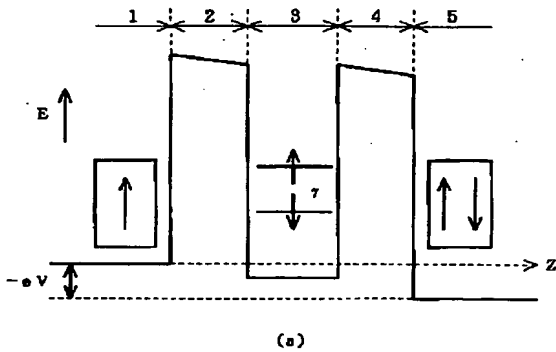
15……強磁性体または非磁性体からなる第2の金属層

16……誘電体で分断された強磁性層

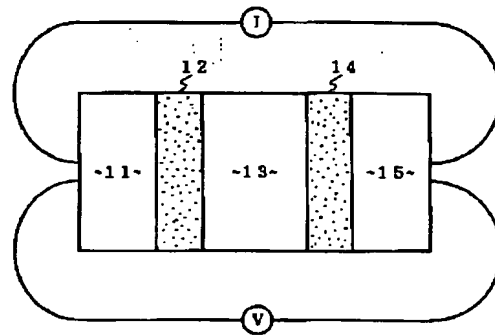
17……誘電体

18……強磁性体

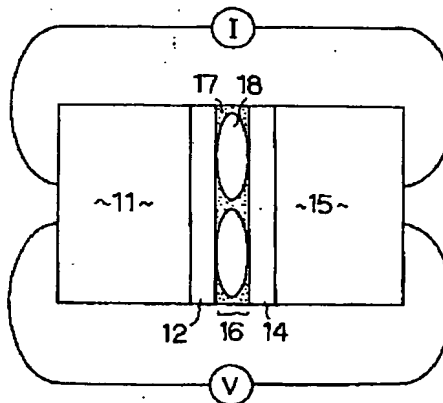
【図1】



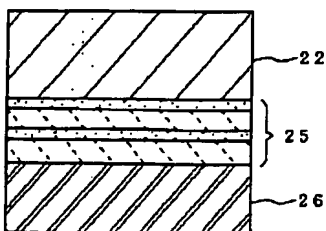
【図2】



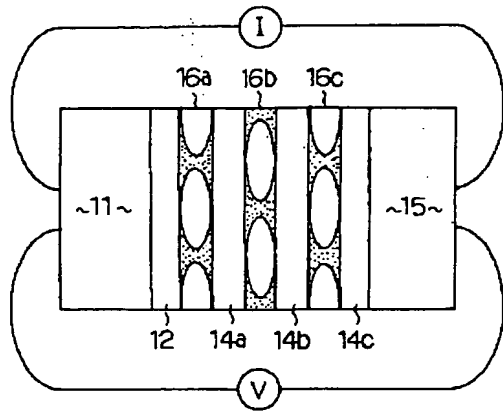
【図3】



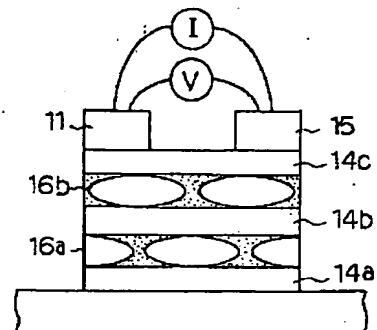
【図10】



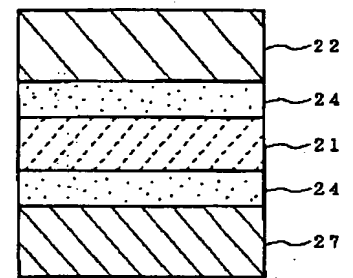
【図4】



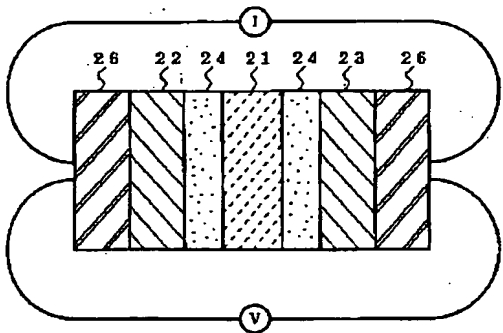
【図5】



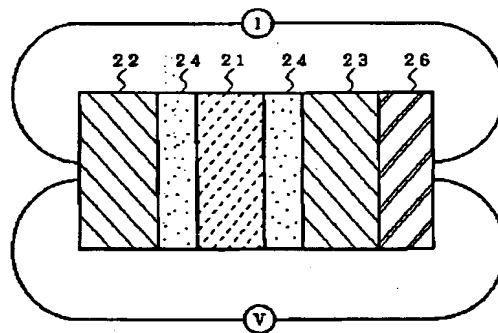
【図12】



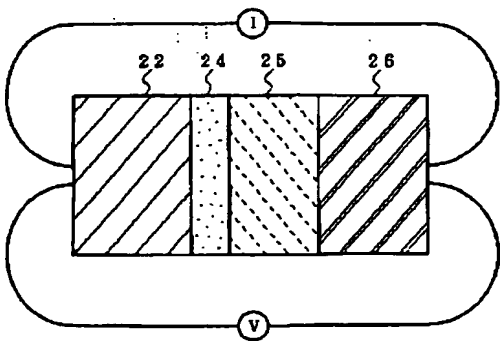
【図6】



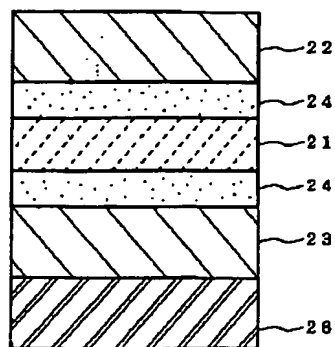
【図7】



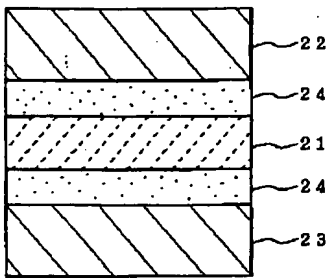
【図8】



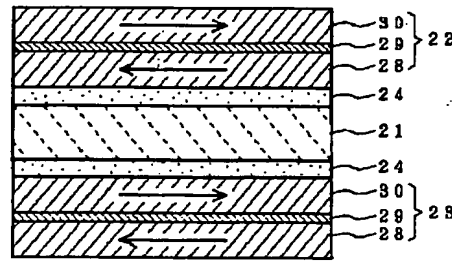
【図9】



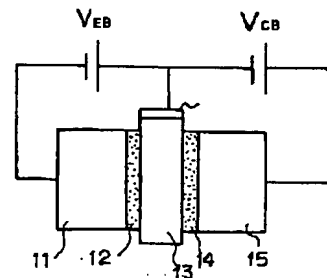
【図11】



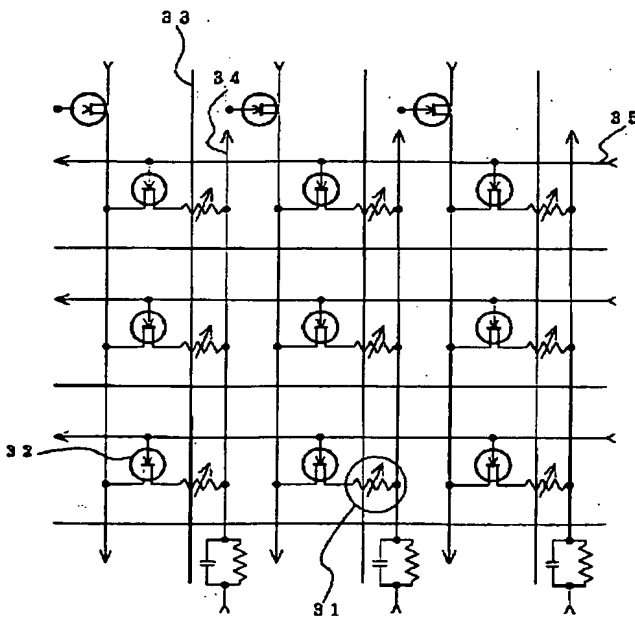
【図13】



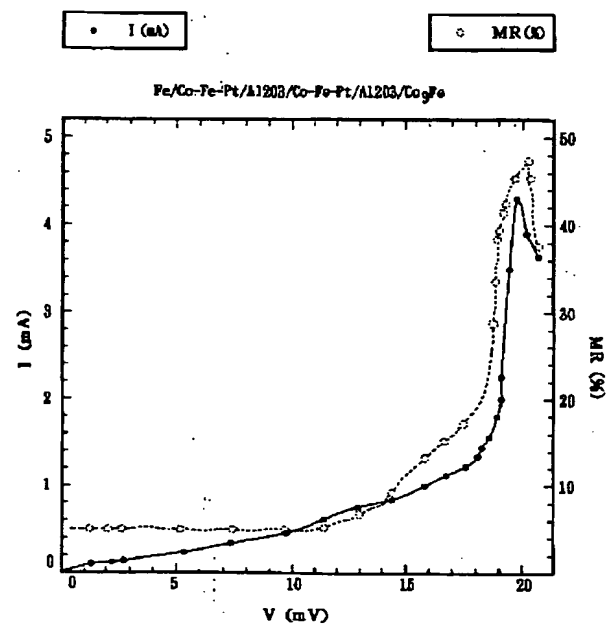
【図24】



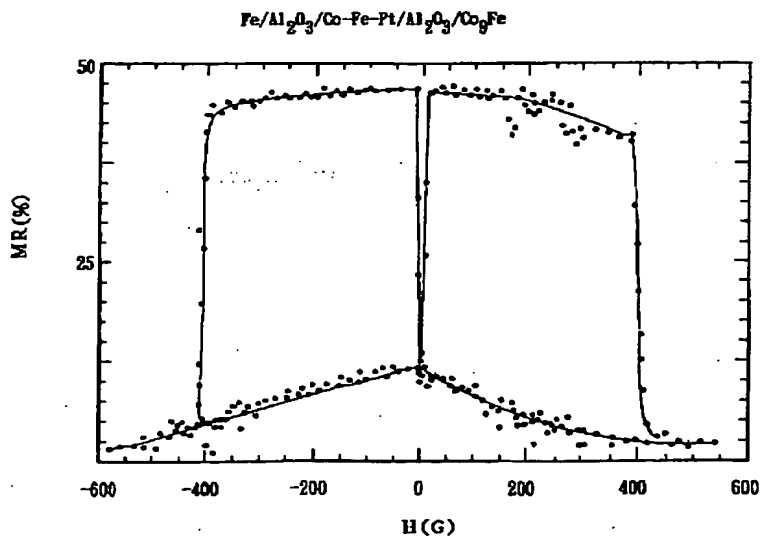
【図14】



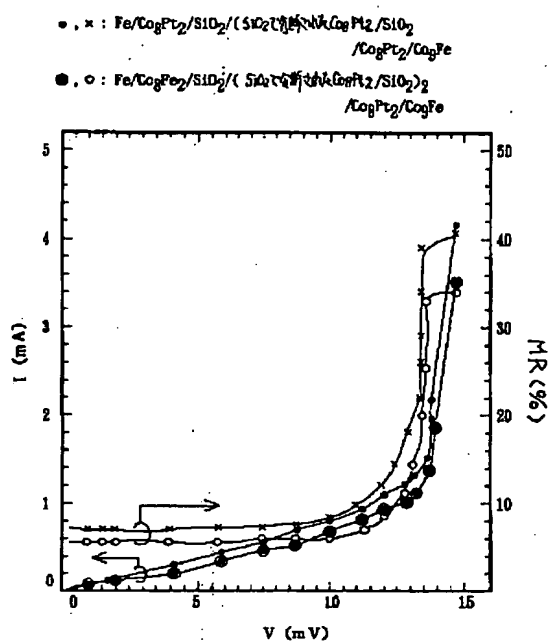
【図15】



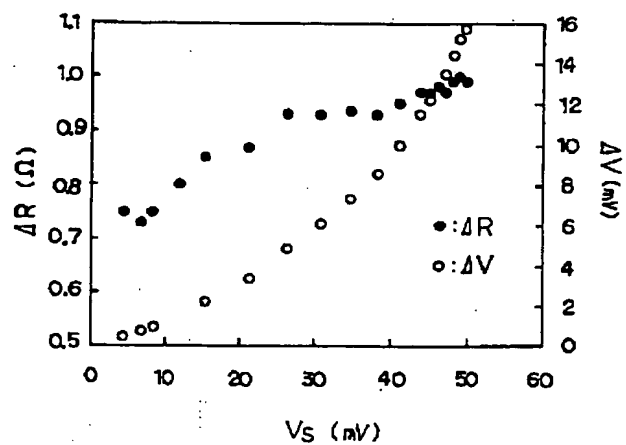
【図16】



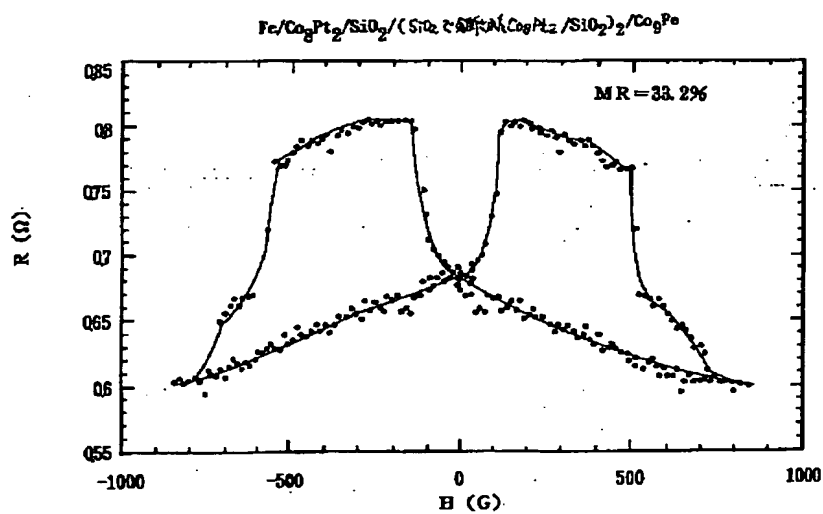
【図17】



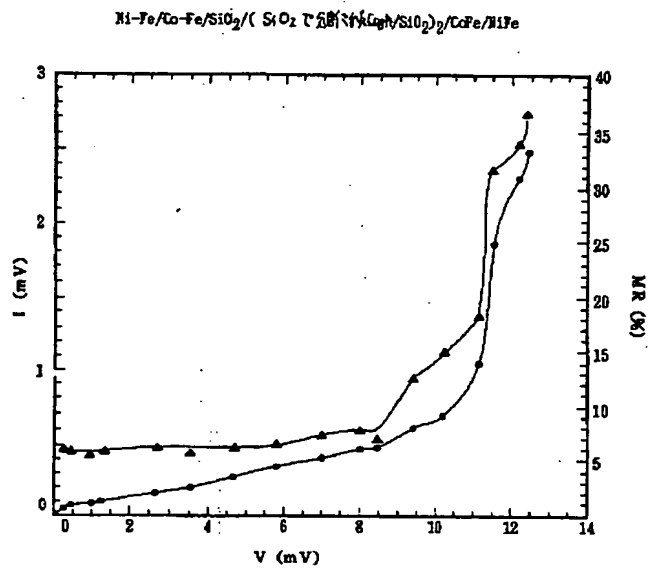
【図18】



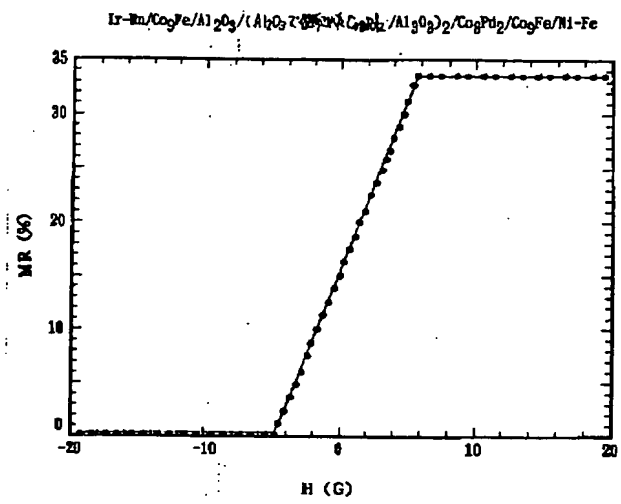
【図19】



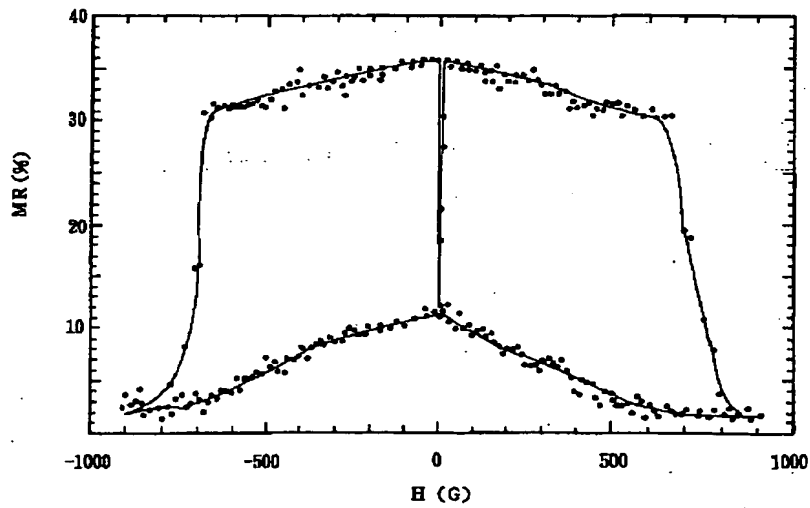
【図20】



【図23】



【図21】



【図22】

